

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup>:</b> <b>H04B 10/18, G02B 6/34</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 00/59140</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 5. Oktober 2000 (05.10.00)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/EP00/02479 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 21. März 2000 (21.03.00)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 199 15 139.3      26. März 1999 (26.03.99)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> DEUTSCHE TELEKOM AG [DE/DE]; Friedrich-Ebert-Allee 140, D-53113 Bonn (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> HEITMANN, Walter [DE/DE]; Freiherr-vom-Stein-Strasse 41, D-64401 Gross-Bieberau (DE). KOOPS, Hans, W., P. [DE/DE]; Ernst-Ludwig-Strasse 16, D-64372 Ober-Ramstadt (DE).  <b>(74) Gemeinsamer Vertreter:</b> DEUTSCHE TELEKOM AG; Rechtsabteilung (Patente) PA1, D-64307 Darmstadt (DE).	<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> CA, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

**(54) Title:** METHOD USING PHOTONIC CRYSTALS FOR THE DISPERSION COMPENSATION OF OPTICAL SIGNALS OF DIFFERENT WAVELENGTHS WHICH ARE TRANSMITTED TOGETHER

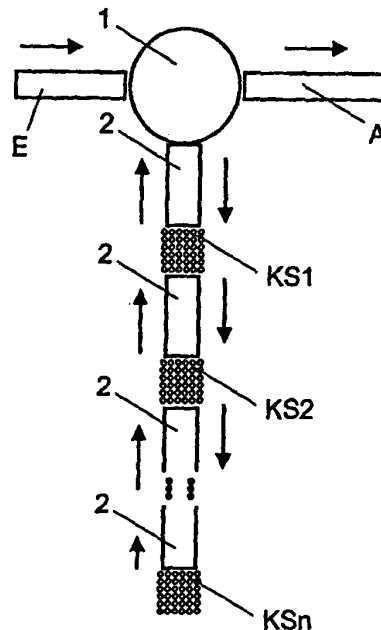
**(54) Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR DISPERSIONSKOMPENSATION GEMEINSAM ÜBERTRAGENER OPTISCHER SIGNALE MIT UNTERSCHIEDLICHEN WELLENLÄNGEN, MITTELS PHOTONISCHER KRISTALLE

**(57) Abstract**

The invention relates to a cost-effective solution for compensating the dispersion of optical signals with different wavelengths. According to the invention, photonic crystals (K1-Kn) are arranged on a common optical waveguide (2). Each photonic crystal (K1-Kn) is set in such a way that it reflects or deflects the signals of one wavelength and allows the signals of other wavelengths to pass through unattenuated. The actual arrangement of the photonic crystals (K1-Kn) on the optical waveguide (2) and the actual arrangement of the deflective elements in the photonic crystal are determined according to the dispersion which is to be compensated between the individual wavelengths. The inventive solution enables high-quality photonic dispersion compensators which are approximately 1000 times shorter than conventional diffraction gratings to be set or adjusted in a fixed manner.

**(57) Zusammenfassung**

Die Erfindung ist auf eine kostengünstige Lösung zur Dispersionskompensation optischer Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen ausgerichtet. Erfindungsgemäß werden photonische Kristalle (K1-Kn) auf einem gemeinsamen Lichtwellenleiter (2) angeordnet. Jeder photonische Kristall (K1-Kn) ist dabei so eingestellt, daß er die Signale einer Wellenlänge reflektiert bzw. umlenkt und die Signale anderer Wellenlängen ungeschwächt durchläßt. Die konkrete Anordnung der photonischen Kristalle (K1-Kn) auf dem Wellenleiter (2) und die konkrete Anordnung der umlenkenden Elemente im photonischen Kristall wird dabei in Abhängigkeit von der auszugleichenden Dispersion zwischen den einzelnen Wellenlängen festgelegt. Durch die erfindungsgemäße Lösung können fest eingestellte bzw. regelbare photonische Dispersionskompensatoren hoher Güte aufgebaut werden, die ungefähr 1000 mal kürzer als herkömmliche Beugungsgitter sind.



ALT

# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

VERFAHREN ZUR DISPERSIONSKOMPENSATION GEMEINSAM ÜBERTRAGENER OPTISCHER SIGNALE  
MIT UNTERSCHIEDLICHEN WELLENLÄNGEN, MITTELS PHOTONISCHER KRISTALLE

**Beschreibung:**

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Dispersionskompensation gemeinsam übertragener optischer Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen in optischen Nachrichtennetzen.

In den bisher aufgebauten optischen Nachrichtennetzen wurden fast ausschließlich Standard-Einmodenfasern mit einer Dämpfung von etwa 0,4dB/km und einem

- 10 Dispersionsminimum bei 1310 nm installiert.

In zunehmenden Maße wird der Wellenlängenbereich um 1550 nm für die optische Nachrichtenübertragung genutzt. Gründe dafür sind die geringere Dämpfung von ca. 0,2dB/km, der zunehmende Einsatz von Wellenlängenmultiplex-Übertragung und die Verfügbarkeit eines praktisch ausgereiften Faserlichtverstärkers, des EDFA (Erbium

- 15 Doped Fiber Amplifier), mit dem in einem breiten Bereich um 1550 nm viele Kanäle gleichzeitig verstärkt werden können.

Ein Mangel der o. g. Lösung besteht darin, daß die Übertragungsbandbreite und die Verstärkerabstände durch die hohe Dispersion von Standard-Einmodenfasern, bei 1550 nm von etwa 17 ps/nm x km, begrenzt wird. Für längere Übertragungsstrecken und

- 20 Bandbreiten im Gb/s-Bereich ist deshalb der Einbau dispersionskompensierender Elemente erforderlich.

Bekannt ist die Verwendung von dispersionskompensierenden Fasern (DCF/Dispersion Compensating Fibers), die eine hohe negative Dispersion aufweisen. Als typischer Wert für die Dispersion einer DCF werden -100ps/nm x km angegeben. Um die Dispersion einer

- 25 100 km langen Standard-Einmodenfaser zu kompensieren, werden demnach 17 km DCF benötigt. Die Kompensationsfasern werden auf Spulen gewickelt, deren Durchmesser zur Vermeidung von Krümmungsverlusten mindestens 10 cm betragen muß. Die Dispersionskompensation mit einer dispersionskompensierenden Faser DCF weist mehrere Nachteile auf:

- Es wird eine große Länge einer relativ teuren Spezialfaser benötigt.
- Die Faserspule besitzt große Abmessungen. Das kann in Verstärkerstellen oder Kabelschächten, besonders bei vieladrigen optischen Kabeln, zu Problemen führen.

5

- Es wird eine Zusatzdämpfung eingefügt. Dispersionskompensierende Fasern haben wegen ihrer speziellen Kernstruktur eine Dämpfung von ca. 0,5dB/km, d.h. bei 17 km Faserlänge ergibt sich eine Dämpfung von etwa 9dB.

- 10 Die oben beschriebenen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten von dispersionskompensierenden Fasern DCF sowie Wellenlängenmultiplex-Übertragung und Faserlichtverstärker sind ausführlich in „Optische Telekommunikationssysteme“ von H. Hultsch, Damm Verlag Gelsenkirchen (1996) S. 123 und S. 296 -298 beschrieben.
- 15 Ein weiteres Verfahren zur Dispersionskompensation (siehe ebenfalls in „Optische Telekommunikationssysteme“ von H. Hultsch, Damm Verlag Gelsenkirchen (1996) Seite 152 - 153 ) beruht auf dem Einsatz von Fasergittern. Für eine Dispersionskompensation über breite Wellenlängenbereiche - z.B. den EDFA - Bereich von 1530 nm - 1570 nm - werden allerdings Fasergitter mit Längen von etwa 1 Meter benötigt. Die Herstellung sehr
- 20 langer Fasergitter mit den erforderlichen Toleranzen im Hinblick auf die Gitterkonstanten und der notwendigen Langzeitstabilität ist kostspielig und befindet sich noch im Entwicklungsstadium.

- Die technische Aufgabe der Erfindung ist auf eine wirtschaftliche Lösung mit geringem
- 25 Raumbedarf zur Dispersionskompensation gemeinsam übertragener optischer Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen  $\lambda$  ausgerichtet.

- Die erfindungsgemäße Lösung basiert auf dem Einsatz von photonischen Kristallen. Photonische Kristalle sind periodische Anordnungen von dielektrischen Materialien mit
- 30 hoher und niedriger Dielektrizitätskonstante, angeordnet im Wechsel als ein-, zwei- oder dreidimensionale Gitter mit Perioden von  $\lambda/3$  und Stab- bzw. Kubusdurchmessern von  $\lambda/6$ .

Siehe J. D. Joannopoulos et al.: Photonic crystals: molding the flow of light, ISBN 0-691-03744-2 (1995).

- Erfindungsgemäß werden gemeinsam mit verschiedenen Wellenlängen übertragene optische Signale, die nach dem Durchlaufen eines Leitungsabschnitts dispersionsbedingte Laufzeitunterschiede aufweisen, über einen faseroptischen Eingang E in eine als Netzwerk ausgebildete Anordnung eingekoppelt, welche aus nacheinander auf einem Lichtwellenleiter 2 angeordneten photonischen Kristallen K1 bis Kn besteht. Die photonischen Kristalle K1 bis Kn sind damit optisch miteinander verbunden. Die photonischen Kristalle K1 bis Kn sind so ausgebildet, daß sie Signale einer bestimmten Wellenlänge reflektieren bzw. umleiten und Signale mit anderen Wellenlängen ungeschwächt durchlassen. Beispielsweise ist der erste photonische Kristall K1 so ausgebildet, daß er ausschließlich die Signale einer ersten Wellenlänge reflektiert. Optische Signale anderer Wellenlängen werden durch den photonischen Kristall K1 ungeschwächt durchgelassen und in den nachgeordneten photonischen Kristall K2 eingekoppelt. Der nachgeordnete zweite photonische Kristall K2 reflektiert von den durch den ersten photonischen Kristall K1 durchgelassenen Signalen wiederum nur die Signale einer zweiten Wellenlänge und läßt ebenfalls die Signale mit anderen Wellenlängen passieren. Entsprechend diesem Prinzip wird das Signal solange von einem photonischen Kristall zu einem weiteren photonischen Kristall weitergeleitet bis die Signale aller Wellenlängen von den ihnen zugeordneten photonischen Kristallen K1 bis Kn reflektiert worden sind.

- Da der Wert der positiven Dispersion der in den faseroptischen Eingang eingekoppelten Signale für die einzelnen Wellenlängen bekannt ist, werden in der aus nacheinander angeordneten photonischen Kristallen K1 bis Kn bestehenden Anordnung für die einzelnen Wellenlängen entsprechende, mit negativer Dispersion behaftete Wegstrecken definiert, die so bemessen sind, daß die Dispersionsunterschiede der Signale der einzelnen Wellenlängen zielgerichtet verändert bzw. vollständig aufgehoben werden. Bevor das Signal einer definierten Wellenlänge in einem der nacheinander angeordneten photonischen Kristalle K1-Kn reflektiert wird, hat es bereits eine Wegstrecke bis zum die definierte Wellenlänge reflektierenden Element im photonischen Kristall zurückgelegt, die mit einer entsprechenden negativen Dispersion beaufschlagt ist. Diese Wegstrecke ist

durch den Abstand zwischen dem faseroptischen Eingang E und dem Reflexionsspiegel im betreffenden photonischen Kristall K1 bis Kn definiert.

- Die von den photonischen Kristallen reflektierten dispersionskompensierten Signale unterschiedlicher Wellenlängen werden zur weiteren Übertragung mittels einer geeigneten
- 5 Baugruppe, wie beispielsweise einem optischen Zirkulator 1, wieder in einen gemeinsamen faseroptischen Ausgang A eingekoppelt.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird anhand von 5 Ausführungsbeispielen näher erläutert.

- 10 Ausgehend davon, daß optische Signale, die mit verschiedenen Wellenlängen  $\lambda_i$ , z.B. 3 Wellenlängen  $\lambda_i, \lambda_{i+1}, \lambda_{i+2}$ , übertragen werden, nach dem Durchlaufen eines Leitungsabschnitts dispersionsbedingte Laufzeitunterschiede aufweisen, sind die Ausführungsformen insbesondere darauf ausgerichtet, diese Laufzeitunterschiede wieder auszugleichen. Optional beinhalten diese Lösungen jedoch auch immer die Möglichkeit,
- 15 für die Signale der einzelnen Wellenlängen, beispielsweise für die Wellenlängen  $\lambda_i, \lambda_{i+1}, \lambda_{i+2}$ , eine Vorverzerrung mit definierten Laufzeitdifferenzen einzustellen.

- In Fig. 1 ist eine Anordnung zur Dispersionskompensation dargestellt, bei der die mit Laufzeitdifferenzen behafteten optischen Signale über einen gemeinsamen faseroptischen
- 20 Eingang E in einen optischen Zirkulator 1 eingekoppelt werden. Vom optischen Zirkulator 1 werden die mit Laufzeitdifferenzen behafteten optischen Signale in eine Baugruppe eingekoppelt, die aus nacheinander auf einem Wellenleiter 2 als selektive Reflexionsfilter angeordneten photonischen Kristallen KS1 bis KSn besteht.
- 25 Dabei ist jeder der photonischen Kristalle KS1 bis KSn so eingestellt, daß er von den über den optischen Zirkulator 1 eingekoppelten Signalen nur die Signale einer bestimmten Wellenlänge reflektiert, die Signale der anderen Wellenlängen aber durchläßt. Welcher photonische Kristall KS1 bis KSn für welche Wellenlänge als Reflexionsfilter ausgebildet ist, ist abhängig von der konkreten Laufzeitdifferenz der Signale der jeweiligen
- 30 Wellenlänge. Je größer die Laufzeitdifferenz ist, desto größer muß auch der optische Weg sein, den das Signal bis zur vollständigen Dispersionskompensation zurücklegen muß.

Dieser Weg läßt sich exakt bemessen. In einem Ausführungsbeispiel mit beispielsweise drei unterschiedlichen Wellenlängen würde das bedeuten, daß der photonische Kristall KS1 nur die Signale der Wellenlänge  $\lambda_i$  zum optischen Zirkulator 1 reflektiert. Das Licht der Wellenlängen  $\lambda_{i+1}$ ,  $\lambda_{i+2}$  wird durch den photonischen Kristall KS1 ungeschwächt zum photonischen Kristall KS2 durchgelassen. Der photonische Kristall KS2 ist so eingestellt, daß er nur die Signale der Wellenlänge  $\lambda_{i+1}$  reflektiert. Die Signale der Wellenlänge  $\lambda_{i+2}$  werden ungeschwächt zum photonischen Kristall KS3 durchgelassen. Der photonische Kristall KS3 ist so eingestellt, daß er nur die Signale der Wellenlänge  $\lambda_{i+2}$  reflektiert. Damit sind alle über den optischen Zirkulator 1 eingekoppelten Signale wieder zum optischen Zirkulator 1 reflektiert worden. Vom optischen Zirkulator 1 werden die nunmehr dispersionskompensierten Signale der drei Wellenlängen  $\lambda_i$ ,  $\lambda_{i+1}$  und  $\lambda_{i+2}$  wieder in den gemeinsamen faseroptischen Ausgang A eingekoppelt und über entsprechende nachgeordnete Einrichtungen weiter übertragen.

Figur 2 zeigt die Transmission in Abhängigkeit von der Wellenlänge für die drei als selektive Reflexionsfilter ausgebildeten photonischen Kristalle KS1-KS3.

Die in Figur 3 abgebildete Ausführungsform unterscheidet sich von der Lösung nach Fig. 1 dadurch, daß in die Wellenleiter 2 zwischen den als selektive Reflexionsfilter ausgebildeten photonischen Kristallen KS1-KSn zusätzlich einstellbare Dispersionsschieber NL01-NL0n eingefügt sind. Durch die einstellbaren Dispersionsschieber NL01-NL0n wird zusätzlich zu den mit negativer Dispersion behafteten festen Wegstrecken eine weiterer Dispersionsausgleich möglich. Die Dispersionsschieber NL01-NL0n werden dabei vorzugsweise so eingestellt, daß die Summe von fester und einstellbarer Dispersionsverschiebung die Dispersionsunterschiede zwischen den einzelnen Wellenlängen ausgleicht.

Die in Figur 4 abgebildete dispersionskompensierende Anordnung ist auf eine Ausführungsform ausgerichtet, die ohne optischen Zirkulator 1 arbeitet. Die photonischen Kristalle KD1 bis KDn sind bei diesem Beispiel auf die Umlenkung von Signalen einer bestimmten Wellenlänge eingestellt. Konkret sind die nacheinander auf dem Wellenleiter

2 angeordneten photonischen Kristalle KD1 bis KDn als Drop-Filter ausgebildet, welche optische Signale einer gewünschten Wellenlänge aus dem Wellenleiter 2 seitlich herauslenken und optische Signale anderer Wellenlängen zum nachgeordneten photonischen Kristall passieren lassen. Die seitlich entsprechend ihrer Wellenlänge von den als Drop-Filter ausgebildeten photonischen Kristallen KD1 bis KDn herausgefilterten Signale werden über Wellenleiterabschnitte zu den als Addierer ausgebildeten photonischen Kristallen KA1 bis KAn optisch übertragen und gemeinsam über den faseroptischen Ausgang A wieder zur weiteren Übertragung eingekoppelt. Durch die beschriebene Anordnung wird der im ersten Ausführungsbeispiel noch benötigte optische Zirkulator 1 eingespart. Am Ausgang des als Addierer ausgebildeten photonischen Kristalles KA1 liegen die Signale der verschiedenen Wellenlängen ohne Laufzeitdifferenzen wieder vor. Die in Figur 4 abgebildete Anordnung zur Dispersionskompensation mit den als Drop-Filter ausgebildeten photonischen Kristallen KD1 bis KDn und den als Addierer ausgebildeten photonischen Kristallen KA1 bis KAn ist zur Dispersionskompensation der Signale der unterschiedlichen Wellenlängen, entsprechend der zu erwartenden Dispersion in geeigneten geometrischen Abständen 3, aufgebaut. Die Anordnung ist dabei mit unterschiedlicher Transmission (Wellenlänge 1 bis Wellenlänge n) aufgebaut, die durch die Bauweise und die Periodenabstände der Wellenleiter 2 ausgewählt wird. Die Wellenleiter 2 sind unterbrochen durch Bereiche, in welchen die Signale entsprechend ihrer Wellenlänge  $\lambda_i$ , bedingt durch die Geometrie des Drei-Terminal-Bereichs, aus den photonischen Kristallen KD1–KDn ausgekoppelt und in die entsprechenden als Addierer ausgebildeten photonischen Kristalle KA1-KAn wieder eingekoppelt und addiert werden. Alle Signale werden dann wieder in den faseroptischen Ausgang A eingekoppelt. Damit wird erreicht, daß die durch Dispersion verursachte Laufzeitverschiebung für alle Signale ausgeglichen wird. Für die verschiedenen Strecken des Netzes müssen, wie bei allen Techniken zur Dispersionskompensation, speziell angepasste Bauteile hergestellt und eingebaut werden. Eine gewisse Standardisierung kann beispielsweise auch durch genormte Abstände zwischen den Stationen erreicht werden, in denen die Dispersionskompensation vorgenommen wird.



- In Figur 5 ist eine Anordnung dargestellt, die im wesentlichen der Anordnung nach Figur 4 entspricht. Diese Anordnung besteht ebenfalls aus dem faseroptischen Eingang E, den auf dem Wellenleiter 2 angeordneten als Drop-Filter ausgebildeten photonischen Kristallen KD1 bis KDn, den als Addierer ausgebildeten photonischen Kristallen KA1-KAn und dem gemeinsamen faseroptischen Ausgang A.
- Zusätzlich sind auf den optischen Wegen zwischen den umlenkenden Ausgängen der als Drop-Filter ausgebildeten photonischen Bauelemente KD1 bis KDn und den Eingängen der als Addierer ausgebildeten photonischen Bauelemente KA1 bis KAn Dispersionsschieber NLO1 bis NLOn angeordnet, deren dispersionsverschiebende Wirkung sich für jede Wellenlänge individuell einstellen läßt, bevor das Signal über die als Addierer ausgebildeten photonischen Kristalle KA1 bis KAn in den gemeinsamen faseroptischen Ausgang A zurückgeführt wird. Die gewünschte Dispersion wird durch das Anlegen von unterschiedlichen Spannungen an den Dispersionsschiebern NLO1-NLOn oder durch die Einwirkung über andere physikalische Parameter, wie beispielsweise Temperatur, Magnetfeld usw., eingestellt. Die Dispersionsschieber NLO1-NLOn können dabei mit einer oder mehreren Spannungen beaufschlagt sein und aus mehreren nichtlinear optischen Materialien bestehen. Vorzugsweise werden die Dispersionsschieber NLO1 bis NLOn über planare Wellenleiter 4 oder auch über photonische Kristall-Wellenleiter jeweils mit den ihnen als Addierer zugeordneten photonischen Kristallen KA1 bis KAn verbunden. Durch die Wahl geeigneter Materialien und die Bemessung der Spannung für die einzelnen Wellenlängen ist es möglich, die gewünschte zusätzliche Dispersion grob oder auch fein abzustimmen. Derartige nichtlinear optische Elemente NLO ermöglichen es, daß die Anordnung nach Figur 5 in gewissen Grenzen an die jeweiligen Einsatzbedingungen angepaßt werden kann. Damit ist eine Anordnung nach Figur 5 universell einsetzbar.
- Nichtlineare optische Dispersionsschieber NLO1-NLOn können beispielsweise aus photonischen Kristallstrukturen bestehen, die mit Flüssigkristallen gefüllt sind. Denkbar ist auch die Verwendung von mit nichtlinear optischen Polymeren gefüllten photonischen Kristallstab- oder Lochstrukturen, die in einem elektrischen Feld aufgebaut werden, welches entsprechend der erforderlichen nichtlinear-optischen Dispersionsverschiebung eingestellt wird. Die konkrete nichtlinear-optische Dispersionsverschiebung wird dabei in Abhängigkeit von der Kompensationsweglänge für die einzelnen Wellenlängen ermittelt.

Werden die Dispersionsschieber NLO1 bis NLOn zwischen den als Drop-Elemente ausgebildeten photonischen Kristallen KD1-KDn und den als Addierer wirkenden photonischen Kristallen KA1 bis KAn optisch eingefügt, so erfolgt die Abstimmung für  
5 jede Wellenlänge separat. Diese Anordnung erlaubt daher eine individuelle Abstimmung der erforderlichen Dispersionsverschiebung für jede einzelne Wellenlänge.

Alternativ dazu können in einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform, entsprechend Figur 6, beispielsweise die Dispersionsschieber NLO1 bis NLOn im optischen Weg  
10 (Wellenleiter 2) zwischen den einzelnen als Drop-Filtern ausgebildeten photonischen Kristallen KD1-KDn angeordnet werden. In diesem Fall wirken die Dispersionsschieber NLO1-NLOn auf verschiedene Wellenlängen gleichzeitig. Die Wirkung der Dispersionsschieber NLO1 bis NLOn addiert sich dabei für die unterschiedlichen Wellenlängen von Dispersionsschieber zu Dispersionsschieber. Die Rückführung der  
15 Signale erfolgt wieder über die Wellenleiter zwischen den als Drop-Filter ausgebildeten photonischen Kristallen KD1-KDn und den als Addierer ausgebildeten photonischen Kristallen KA1-KAn, die die Signale addieren und wieder in den faseroptischen Ausgang A zurückführen.

Durch die erfindungsgemäße Lösung können photonische Kristall-Add-Drop-Filter hoher  
20 Güte aufgebaut werden, die ungefähr 1000 mal kürzer als herkömmliche Beugungsgitter sind, welche als Chirped Gratings aufgebaut sind und eine Länge von ca. 100 cm aufweisen. Mittels der erfindungsgemäßen Lösung ist der Aufbau einer Anordnung zur Dispersionskompensierung möglich, die auf einem einzigen, wenige cm großen Chip untergebracht ist. Dieses Chipbauelement hat den Vorteil einer höheren  
25 Temperaturstabilität, so daß es auch für größere Temperaturbereiche eingesetzt werden kann. Zum anderen entfällt bei den Ausführungsformen nach den Figuren 4, 5 und 6 der kostenintensive Zirkulator 2. Abgesehen von der besseren Handhabung ist die erfindungsgemäße Lösung auch wesentlich preiswerter als eine Lösung, die auf den bekannten, herkömmlichen Strukturen beruht. Durch die elektrisch einstellbaren  
30 Dispersionsschieber NLO1 bis NLOn kann die Lösung auch bei verschiedenen Streckenlängen individuell an die jeweiligen Erfordernisse angepaßt werden.

Die praktische Ausführung der erfindungsgemäßen Anordnung zur Dispersionskompensation läßt sich in Festkörperwellenleitertechnik mittels 3-dimensionaler additiver Lithografie oder durch elektrolytisches, lichtunterstütztes Ätzen von Silizium mit geeigneter Strukturierung der Lochmaske realisieren.

**Bezugszeichenaufstellung**

	E	Faseroptischer Eingang
	A	Faseroptischer Ausgang
5	1	Optischer Zirkulator
	2	Wellenleiter
	3	geometrische Abstände der photonischen Kristalle
	4	planare Wellenleiter
	K1-Kn	photonische Kristalle
10	KS1-KSn	als selektive Reflexionsfilter ausgebildete photonische Kristalle
	KD1-KDn	als Drop-Elemente ausgebildete photonische Kristalle
	KA1-KAn	als Addierer ausgebildete photonische Kristalle
	NLO1-NLO4	Dispersionsschieber
	$\lambda$	Wellenlänge

**(8) Patentansprüche:**

1. Verfahren zur Dispersionskompensation gemeinsam übertragener optischer Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,  
5 daß die übertragenen optischen Signale gemeinsam in eine Anordnung eingekoppelt werden, die aus nacheinander auf mindestens einem Wellenleiter (2) angeordneten, optisch miteinander verbundenen photonischen Kristallen (K1-Kn) besteht, daß in jedem photonischen Kristall jeweils nur die Signale einer Wellenlänge reflektiert bzw. umgeleitet und die Signale der anderen Wellenlängen ungeschwächt  
10 zum nachgeordneten photonischen Kristall durchgelassen werden, wobei für die Signale jeder Wellenlänge gilt, daß die Wegstrecke von der Stelle der Einkopplung bis zur Stelle im jeweiligen photonischen Kristall (K1-Kn), an der sie reflektiert bzw. umgeleitet werden, mit einer negativen Dispersion beaufschlagt ist, welche die positive Dispersion der eingekoppelten Signale verändert bzw. ganz  
15 aufhebt, und daß anschließend die resultierenden Signale aller Wellenlängen gemeinsam weiter übertragen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,  
daß durch in den Wellenleiter (2) eingefügte Dispersionsschieber (NLO1-NLOn)  
20 Dispersionsunterschiede in den durch die Dispersionsschieber (NLO1-NLOn) vorgegebenen Grenzen ausgeglichen werden können.
3. Anordnung zur Dispersionskompensation gemeinsam übertragener optischer Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,  
25 daß sie aus den photonischen Kristallen (K1-Kn) besteht, wobei jeder Wellenlänge in Abhängigkeit von ihrer Dispersion ein photonischer Kristall (K1-Kn) fest zugeordnet ist, daß die photonischen Kristalle (K1-Kn) auf mindestens einem gemeinsamen Lichtwellenleiter (2) angeordnet sind, daß jeder photonische Kristall (K1-Kn) so eingestellt ist, daß er die Signale einer Wellenlänge reflektiert bzw. umlenkt und die  
30 Signale anderer Wellenlängen ungeschwächt durchläßt, wobei die Stelle im photonischen Kristall (K1-Kn), an der die Signale der jeweiligen Wellenlänge

reflektiert bzw. umgelenkt werden, so gewählt wird, daß für die Signale aufgrund des vom Eingang (E) bis zu dieser Stelle zurückgelegten Weges eine Dispersionskompensation erfolgt, und daß die photonischen Kristalle optisch mit mindestens einer Baugruppe verbunden sind, welche die reflektierten bzw.  
5 umgelenkten Signale aller Wellenlängen wieder für die weitere Übertragung bereitstellt.

4. Anordnung zur Dispersionskompensation nach Anspruch 3,  
**d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,**  
10 daß sie bei einem optischen Signal mit mindestens zwei unterschiedlichen Wellenlängen ( $\lambda_i$  und  $\lambda_{i+1}$ ) aus mindestens zwei nacheinander auf einem Wellenleiter (2) angeordneten, als selektive Reflexionsfilter ausgebildeten photonischen Kristallen (KS1 bis KS2) besteht, welche über einen optischen Zirkulator (1) mit dem faseroptischen Eingang (E) und dem faseroptischen Ausgang (A) verbunden sind, und  
15 daß der erste photonische Kristall (KS1) als Reflexionsfilter für die erste Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) und der zweite photonische Kristall (KS2) als Reflexionsfilter für die zweite Wellenlänge ( $\lambda_{i+1}$ ) ausgebildet ist.

5 Anordnung nach Anspruch 3 und 4, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,**  
20 daß zur gleichzeitigen Grob- bzw. Feinabstimmung der negativen Dispersion für verschiedene Wellenlängen zwischen den als selektive Reflexionsgitter ausgebildeten photonischen Kristallen (KS1-KSn) regelbare Dispersionsschieber NLO1 bis NLOn aus nichtlinearen optischen Materialien optisch eingekoppelt sind.

25 6. Anordnung zur Dispersionskompensation nach Anspruch 3,  
**d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,**  
daß bei einem optischen Signal mit mindestens zwei unterschiedlichen Wellenlängen ( $\lambda_i$ ) und ( $\lambda_{i+1}$ ) der Wellenleiter (2) aus zwei gegenüberliegenden Teilabschnitten besteht, wobei der erste Teilabschnitt dem faseroptischen Eingang (E) und der zweite  
30 Teilabschnitt dem faseroptischen Ausgang (A) zugeordnet ist, und daß auf dem ersten Faserabschnitt (2) nacheinander mindestens zwei als Drop-Elemente ausgebildete

- photonische Kristalle (KD1 und KD2) mit Ausgängen zur seitlichen Abweisung von Signalen einer Wellenlänge angeordnet sind, und daß auf dem zweiten Faserabschnitt nacheinander mindestens zwei als Addierer ausgebildete photonische Bauelemente (KA1;KA2) angeordnet sind, wobei jeder der als Drop-Element ausgebildeten photonischen Kristalle (KD1;KD2) über seinen Ausgang zur seitlichen Abweisung optisch mit dem ihm gegenüberliegenden Eingang des als Addierer ausgebildeten photonischen Kristalls (KA1;KA2) verbunden ist.
- 5
7. Anordnung nach Anspruch 3 und 6, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,  
daß zur Grob- bzw Feinabstimmung der negativen Dispersion jeder einzelnen Wellenlänge in die optischen Verbindungen zwischen den seitlich angeordneten Ausgängen der als Drop-Elemente ausgebildeten photonischen Kristalle (KD1-KDn) und den als Addierer ausgebildeten photonischen Kristallen (KA1-KAn) regelbare Dispersionsschieber NLO1 bis NLOn aus nichtlinearen optischen Materialien optisch  
15 eingekoppelt sind.
8. Anordnung nach Anspruch 3 und 6, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,  
daß zur gleichzeitigen Grob- bzw. Feinabstimmung der negativen Dispersion für verschiedene Wellenlängen in den ersten Wellenleiterabschnitt (2) vor den als Drop-Filter ausgebildeten photonischen Kristallen (K3 bis K4) regelbare  
20 Dispersionsschieber (NLO1-NLO3) aus nichtlinear optischem Material optisch eingekoppelt sind.

1/5

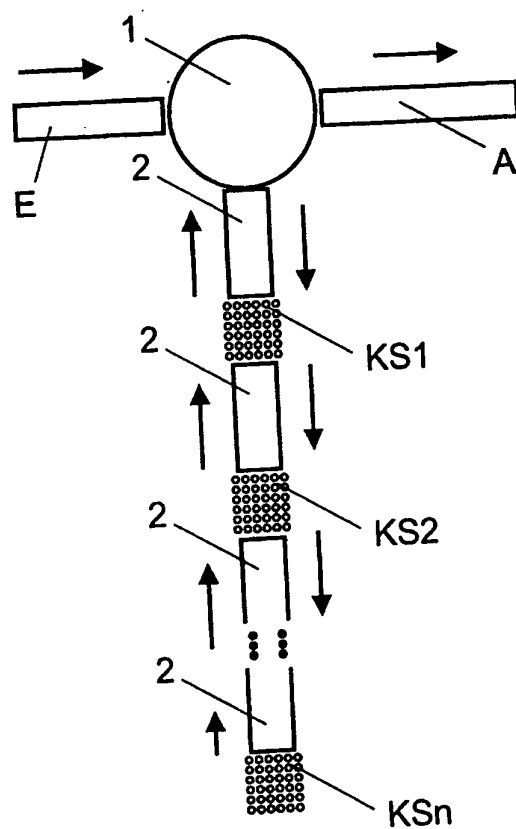


Fig. 1

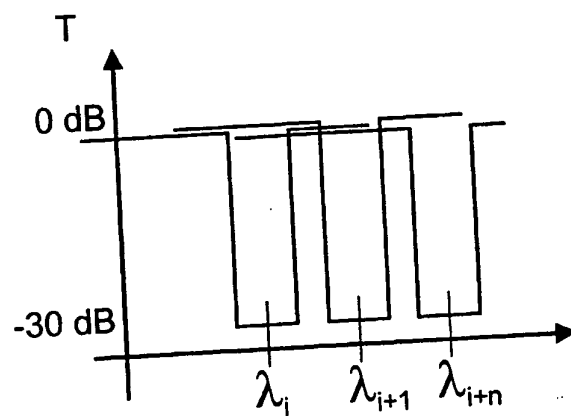


Fig. 2



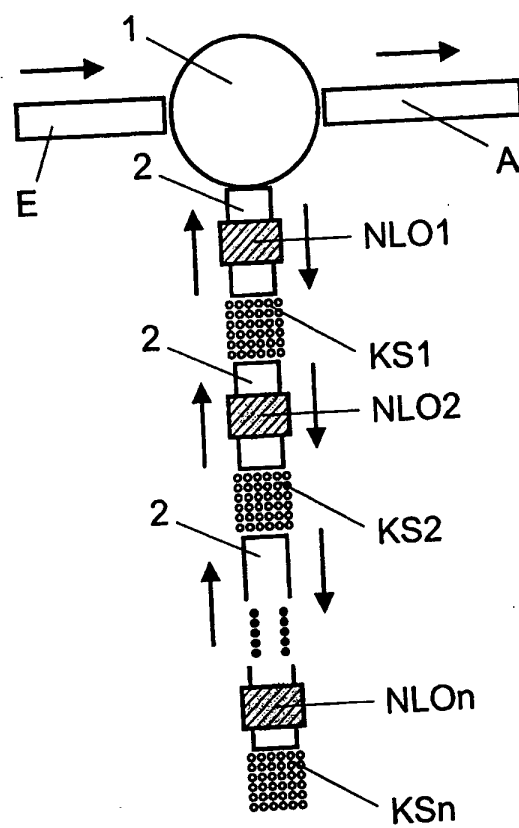


Fig. 3

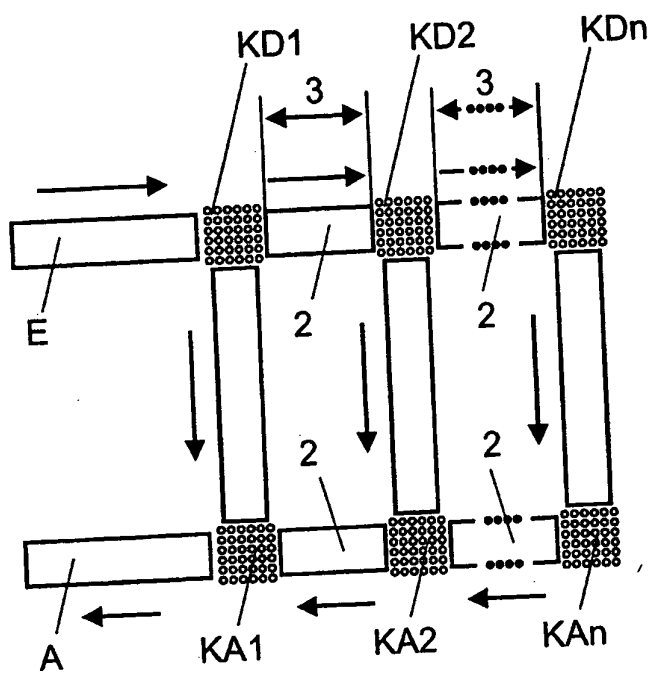


Fig. 4

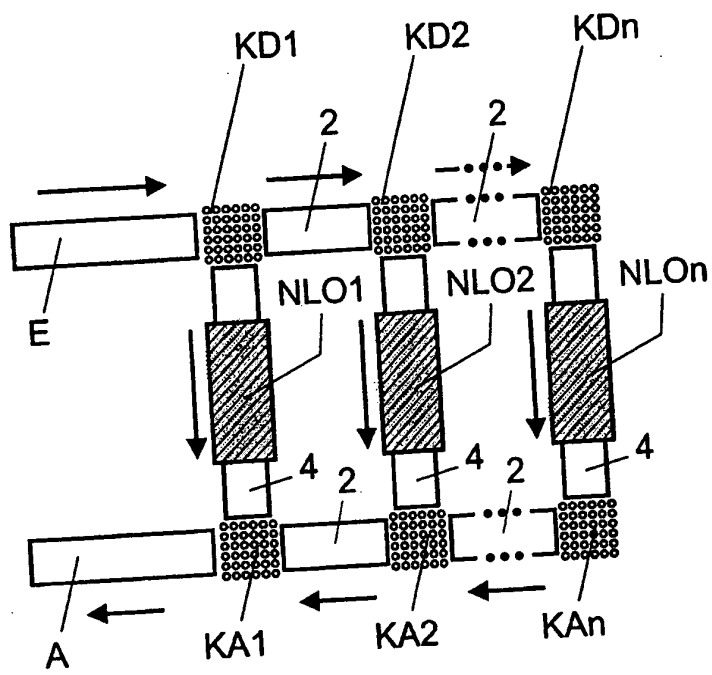


Fig. 5

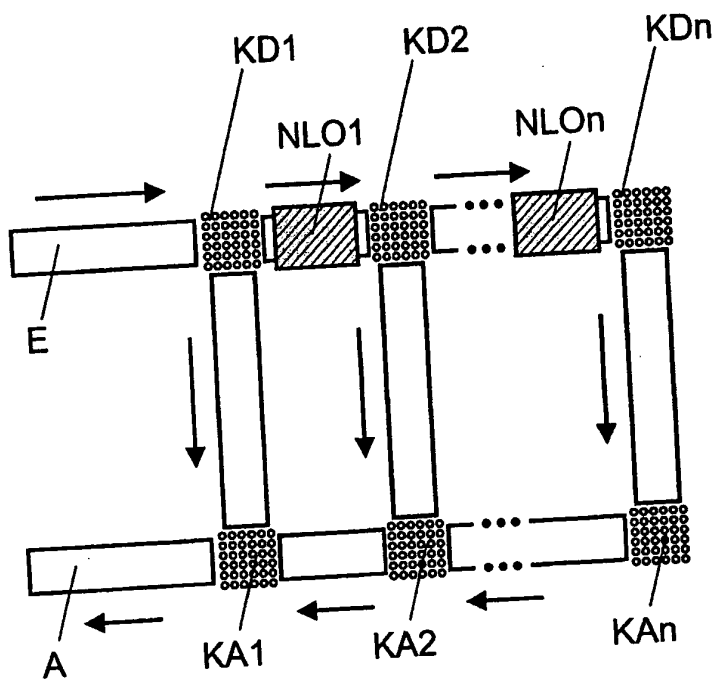


Fig. 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP 00/02479

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 H04B10/18 G02B6/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04B G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 99 00956 A (DEUTSCHE TELEKOM AG) 7 January 1999 (1999-01-07) * Abstract * page 6, line 1 - line 7 figure 4	1-8
A	US 5 802 236 A (DIGIOVANNI DAVID JOHN ET AL) 1 September 1998 (1998-09-01) * Abstract * column 1, line 29 - line 32 column 3, line 8 - line 11 column 3, line 61 - line 65	1
A	EP 0 753 944 A (PIRELLI CAVI SPA) 15 January 1997 (1997-01-15) page 10, line 4 - line 24 figure 3	1-8
-/-		

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family.

Date of the actual completion of the international search

11 July 2000

Date of mailing of the international search report

19/07/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Carrasco Comes, N

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/EP 00/02479

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>KOOPS H W P: "PHOTONIC CRYSTALS BUILT BY THREE-DIMENSIONAL ADDITIVE LITHOGRAPHY ENABLE INTEGRATED OPTICS OF HIGH DENSITY" PROCEEDINGS OF THE SPIE,US,SPIE, BELLINGHAM, VA, vol. 2849, 5 August 1996 (1996-08-05), pages 248-256, XP000617864 page 253 -page 254</p>	1-8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. Jonal Application No

PCT/EP 00/02479

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9900956 A	07-01-1999	EP 0992141 A NO 996407 A	12-04-2000 21-02-2000
US 5802236 A	01-09-1998	EP 0810453 A JP 10095628 A	03-12-1997 14-04-1998
EP 0753944 A	15-01-1997	IT MI951536 A AU 713980 B AU 5614096 A BR 9601945 A CA 2181120 A CN 1146674 A CZ 9601966 A HU 9601866 A JP 9186650 A NO 962944 A NZ 286885 A PL 315241 A SK 91196 A US 5677786 A	14-01-1997 16-12-1999 23-01-1997 07-04-1998 15-01-1997 02-04-1997 15-01-1997 28-05-1997 15-07-1997 15-01-1997 25-03-1998 20-01-1997 05-11-1997 14-10-1997

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. Internat. Aktenzeichen  
PCT/EP 00/02479

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H04B10/18 G02B6/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationsymbole)  
IPK 7 H04B G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)  
EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 99 00956 A (DEUTSCHE TELEKOM AG) 7. Januar 1999 (1999-01-07) * Zusammenfassung * Seite 6, Zeile 1 - Zeile 7 Abbildung 4	1-8
A	US 5 802 236 A (DIGIOVANNI DAVID JOHN ET AL) 1. September 1998 (1998-09-01) * Abstract * Spalte 1, Zeile 29 - Zeile 32 Spalte 3, Zeile 8 - Zeile 11 Spalte 3, Zeile 61 - Zeile 65	1
A	EP 0 753 944 A (PIRELLI CAVI SPA) 15. Januar 1997 (1997-01-15) Seite 10, Zeile 4 - Zeile 24 Abbildung 3	1-8
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelsfrei erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindeterischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindeterischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. Juli 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

19/07/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Carrasco Comes, N



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. donales Aktenzeichen  
PCT/EP 00/02479

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>KOOPS H W P: "PHOTONIC CRYSTALS BUILT BY THREE-DIMENSIONAL ADDITIVE LITHOGRAPHY ENABLE INTEGRATED OPTICS OF HIGH DENSITY" PROCEEDINGS OF THE SPIE,US,SPIE, BELLINGHAM, VA, Bd: 2849, 5. August 1996 (1996-08-05), Seiten 248-256, XP000617864 Seite 253 -Seite 254</p>	1-8

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationale Aktenzeichen

PCT/EP 00/02479

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9900956 A	07-01-1999	EP 0992141 A NO 996407 A	12-04-2000 21-02-2000
US 5802236 A	01-09-1998	EP 0810453 A JP 10095628 A	03-12-1997 14-04-1998
EP 0753944 A	15-01-1997	IT MI951536 A AU 713980 B AU 5614096 A BR 9601945 A CA 2181120 A CN 1146674 A CZ 9601966 A HU 9601866 A JP 9186650 A NO 962944 A NZ 286885 A PL 315241 A SK 91196 A US 5677786 A	14-01-1997 16-12-1999 23-01-1997 07-04-1998 15-01-1997 02-04-1997 15-01-1997 28-05-1997 15-07-1997 15-01-1997 25-03-1998 20-01-1997 05-11-1997 14-10-1997